

貨物輸送中の衝撃値(加速度)に関する データベースの作成

平成26年度報告書

一般社団法人日本海事検定協会

(検査第一サービスセンター)

目 次

1. 目的	… 3
2. トラック・鉄道・航空機などで発生する衝撃値	… 4
2-1 事業実施方法	… 4
2-2 計測器の選定	… 4
2-3 計測方法の検討	… 4
2-4 計測用ダミーボックスの作成	… 4
2-5 航空会社への協力依頼	… 4
3. 船舶の揺れにより貨物に発生する加速度	… 5
3-1 事業実施方法	… 5
3-2 実験について	… 5
3-2-1 共試船	… 5
3-2-2 航海スケジュール	… 5
3-2-3 センサーおよび船内設置場所	… 5
3-2-4 計測データ	… 5
3-2-5 気象・海象情報	… 5
3-2-6 加速度情報	… 6
3-2-7 基礎知識	… 6
3-3 解析結果の利用について	… 6
3-4 ウェブによるデータ表示システムの構築	… 7
3-5 まとめ	… 7
4. 来年度以降の事業について	… 8

添付資料

2. トラック・鉄道・航空機などで発生する衝撃値 関連

- ・「航空輸送による加速度の測定」(公 3-03 H26 航空輸送による加速度の測定.pdf)

3. 船舶の揺れにより貨物に発生する加速度 関連

- ・「船舶加速度・衝撃値データの統計処理等の理論化及びその活用素に関する研究」
(公 3-03 H26 神戸大学報告書.pdf)
- ・「巨大貨物のバージ輸送中の加速度の計測」
(公 3-03 H26 巨大貨物のバージ輸送中の加速度の計測.pdf)
- ・バージ実験データの解析結果 Timer Trigger(公 3-03 H26 バージデータ Timer Trigger.pdf)
- ・バージ実験データの解析結果 Signal Trigger(公 3-03 H26 バージデータ Signal Trigger.pdf)

1. 目的

本事業は、船舶・トラック・鉄道・航空機等の輸送モード別、貨物の単体輸送・コンテナ輸送別に輸送中に発生する衝撃値(加速度)を一定期間にわたって計測・収集し、その結果を取りまとめたうえでデータベース化して公表するものである。

上記輸送モード別の数値を多数の関係者に有効に利用していただくことが本事業の端的な目的ではあるが、将来的には総合的に貨物を安全に目的地まで輸送するための基礎資料となるようにデータをまとめ、海上輸送にあたってはその輸送中の固縛について、また、陸上、航空輸送にあたっては輸送中の振動に対する貨物の包装、固縛についての検討に結びつけることも可能であると考えます。

2. トラック・鉄道・航空機などで発生する衝撃値

2-1 事業実施方法

本事業の目的は、船舶・トラック・鉄道・航空機等の輸送モード別、貨物の単体輸送・コンテナ輸送別に輸送中に発生する衝撃値(加速度)を一定期間にわたって計測・収集し、その結果を取りまとめたうえでデータベース化して公表するものである。

本年度は、航空輸送中の加速度計測を開始した。加速度の計測は民間航空輸送会社に協力を依頼し、実際に航空機に計測器を設置し加速を計測することとした。

報告書は、Lansmont 社の Report と合わせて一体の報告書として作成する予定である。

2-2 計測器の選定

航空機輸送のデータ収集にあたり、取得データの解析性能を考慮して SAVER 3D15 を使用して計測することとした。また本計測器が、FCC マークと DO-160 を取得していることにより電波障害は発生しないことを確認した。

FCC マークは、装置からの電磁妨害が連邦通信委員会によって承認された範囲の下にあることを証明するアメリカで製造されたか販売された電子製品上で使用された証明マーク。

DO-160 は、空挺機器用の環境条件および試験手順によって公開アビオニクスハードウェアの環境試験の標準。

2-3 計測方法の検討

航空機輸送の貨物として計測することから、ダミーボックス作成して計測器を収納する方法とした。

2-4 計測用ダミーボックスの作成

平成 24 年度に「陸上輸送中において発生する荷扱いの衝撃値計測」にダミーボックスを使用した経験を踏まえて、同じような方法で航空機計測に合う形で作成した。

大手宅配業者のカートン（サイズ 32(L) x 43(W) x 25(H) cm）を使用して、カートン内に計測器を設置した木箱を収納。木箱底面に計測器を直接設置することにより、ダミーボックスが受けた加速度を計測できるようにした。

計測器を収納したダミーボックス 1 個の重量はおおよそ 5kg。

2-5 航空会社への協力依頼

本年度に引き続き来年度にかけて、本事業の目的を説明してご理解を頂いた上で計測の協力を頂けるように航空会社へ協力を依頼していく予定である。

3. 船舶の揺れにより貨物に発生する加速度

3-1 事業実施方法

調査対象は輸送時に発生する衝撃値(加速度)の数値であるので、その数値を実際の船舶において計測することとする。あくまでも実測値をデータとすることとし、その計測は環境データレコーダー等と呼ばれる、所謂、加速度記録計で実施される。

計測は平成23年度事業により選定された計測機器、米国ランスモント社の SAVER 3D15 を採用し、これを昨年度に引き続き、上海スーパーエクスプレス株式会社様のご協力をいただき、同社運航の RORO 船に設置して計測を行った。

本年度は昨年にも引き続いて実施したことでおよそ2年間のデータを得ることが出来た。

神戸大学と弊会の共同研究による、添付の「船舶加速度・衝撃値データの統計処理等の理論化及びその活用素に関する研究」(以下「神戸大学報告書」)が成果品として提出され、また、同大研究室により実験データをウェブ上で閲覧出来るようになった。

3-2 実験について

計測は平成25年度に引き続き継続的な測定を実施した。概要は以下の通りである。

3-2-1 共試船

共試船は引き続き上海スーパーエクスプレス社様運航の「SHANGHAI SUPER EXPRESS」とした。要目は添付「神戸大学報告書」を参照のこと。

3-2-2 航海スケジュール

「SHANGHAI SUPER EXPRESS」は博多～上海間の定期便であり、約1日をかけて航海する。各月およそ4往復の航海を解析の対象とした。

3-2-3 センサーおよび船内設置場所

計測器は前述のように SAVER 3D15 を継続して使用することとし、船内での計測位置も変更せずに継続的に計測することとする。

3-2-4 計測データ

計測器の設定は基本的に同じ設定で計測した。

3-2-5 気象・海象情報

気象・海象情報は本船乗組員により記載されたログブックから抜粋して入手した。具体的な項目は「神戸大学報告書」を参照のこと。

3-2-6 加速度情報

加速度値は出航時から入港時まで継続的に計測していますが、全てのデータを解析するのはあまりにもデータ量が膨大であるため、前述の気象・海象情報を参考にして、荒天もしくは荒天に近い状況の中でのデータを解析の対象とすることとしている。

データ情報の取り扱い手法については「神戸大学報告書」を参照のこと。

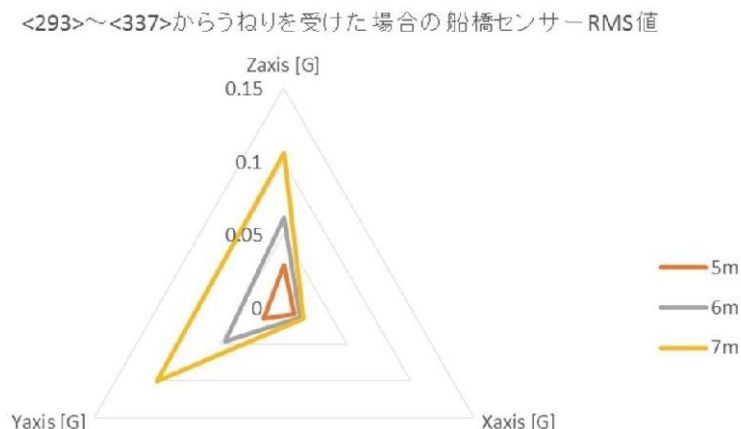
3-2-7 基礎知識

加速度値から貨物への影響及び波浪に関する基礎知識を公開した。

3-3 解析結果の利用について

解析結果は全て添付の資料に記載されており、各データを閲覧することが出来る。 本年は特にうねりの方向と加速度値の関係、また、加速度計の設置位置による違いを知ることが可能となった。

例えば、下図のように顕著な例が示される。ここでは斜め前方からうねりを受けた場合であるが、波高が高くなるにつれ加速度は大きくなり、また、斜め前方からのうねりの中ではZ方向(上下)とY方向(左右)で影響を受けやすいという、既存の理論通りであることが判る結果となっている。



上記の数値は設定場所や海象条件によって分別されている、詳細は添付の資料を参照のこと。
これらの解析結果を参照することにより、各方向の加速度の大きさや傾向を知ることが出来る。

3-4 ウェブによるデータ表示システムの構築

前述の加速度や海象の収集データ及びその解析結果は神戸大学の研究室の手によりウェブ化されたものを情報閲覧者が自由に閲覧することが出来る。

画面には説明文も表示されるので、より有効にデータが使用出来るものとする。



3-5 まとめ

平成24年度から計測を開始し約2年間にわたり同型の船舶での計測を実施しました。計測データ数に限界が有り、完全なものとは言えませんが、結果から見れば既存の理論と大きな乖離はなかったものと考えられます。

昨年度から実施されているデータベース化およびウェブ化によって、これを利用しようとする皆様方に全データを容易に比較・検討が行え、有意義な成果が得られることを期待しております。

4. 来年度以降の事業について

陸上輸送の方面では、来年度は引き続き航空機輸送時の衝撃値に注目し、加速度記録計を貨物に収納した状態で加速度計測を実施し、その結果を解析する。

海上輸送の方面では来年27年度は今年度スタートした「巨大貨物のバージ輸送中の加速度の計測」を継続し加速度の収集に注力したい。神戸大学との共同研究も継続して実施することとする。

以上

平成 27 年 2 月 15 日

平成 26 年度報告書

船舶加速度・衝撃値データの統計処理等の理論化 及びその活用策に関する研究

神戸大学大学院 海事科学研究科

一般社団法人日本海事検定協会

検査第一サービスセンター

目 次

1 研究目的および経緯	1
2 実験について	2
2.1 共試船	2
2.2 航海スケジュール	3
2.3 センサーおよび船内設置場所	4
2.4 計測データ	5
2.5 気象・海象情報	6
2.6 加速度情報	7
2.6.1 解析範囲の限定	7
2.6.2 海面状態と加速度の関係	8
2.7 基礎知識	9
2.7.1 解析範囲の限定	9
2.7.2 波浪	10
3 解析方法	11
3.1 加速度の選択	11
3.2 加速度の事前処理	11
3.3 RMS 値	14
4 解析結果	15
4.1 うねりと加速度の計測回数	15
4.2 波向毎の波高と加速度の関係	17
4.3 RMS 平均値より大きな波向	23
4.4 8 波向分類による加速度特性	25
5 まとめ	32
参考文献	34

1. 研究目的および経緯

貨物輸送を行う際に不特定多数の者が有意な資料として活用できるようにするための研究を行うことを主たる目的とし、船舶輸送中の加速度・衝撃値の実態調査、統計処理等の理論化及びその活用策に関する研究を行い、計測値の整理・解析とともに当該研究成果を報告書としてまとめて公表します。

平成 23 年度、同社団法人検査第一サービスセンターにおいて、下記の 2 つの主たる事業を実施いたしました。

- ・ 計測機器の選択及び購入
- ・ 購入計測機器の初期運用および基礎的試験

その結果、船舶動揺計測では米国ラスモント社製 SAVER 3D15 を選定し、さらに上海スーパーエクスプレス株式会社所有の上海-博多航路の中型コンテナ船の船橋、貨物室、機関室の 3 カ所に上記計測器を設置して基礎的な加速度測定を行いました。その結果、船艇した計測機器による船体動揺加速度の計測が可能であるとの結論を得ました。（H23 年度報告書を参照下さい。）

平成 24 年度は、船舶動揺計測を実施するためにメタルボックスを開発し、次年度より本格的に開始される船体動揺加速度のデータベース化に向けて、以下の事業を実施いたしました。

- ・ メタルボックスの評価実験
- ・ センサーの適切な計測値を得るための評価実験
- ・ 長期間計測値処理のため解析法の検討

その結果、本研究課題への取り組みは着実に成果を上げつつあり、上述したように長期間にわたる計測結果によって、船舶運航者および陸上における関係者への有効な情報提供が可能となることから、ここで行った情報収集、解析および評価（利用）方法は非常に有効であるとの結論を得ました。

平成 25 年度は 1 年間にわたる実験により継続した計測値の収録を行い、前年度の計測値を含めた全ての計測値を容易に比較・検討が行えるデータベース作成およびウェブによる情報表示システムの構築を実施いたしました。

平成 26 年度は、同年の 1 月から 7 月までデータベースを更新し、さらに「4m 以上のうねり」に着目して、ログブック記載 4m 以上のうねりを観測した時間帯を抽出しました。次に、船内における異なる 3 箇所の設置場所（貨物室、船橋、機関室）別に計測された 3 軸方向に加速度特性を比較検討し、構築されたデータベースを参照される方々のための一助なれば幸いです。

2. 実験について

2.1 共試船

本実験で用いる船舶は，博多―上海間を航行するコンテナ船で，表 2.1 に対象船舶の要目を，図 2.1 に全体写真を示します．

表 2.1 共試船要目

総トン数	全長	航海速力	船種
16,350	145.65m	20.8 ノット	RORO 船



図 2.1 SHANGHAI SUPER EXPRESS
(<http://www.ss-eXpress.biZ/companY/04.html> より)

2.2 航海スケジュール

航海スケジュールの一例を表 2.2 に示します。このように、博多-上海間をほぼ 1 日かけて航海し、9 月分では双方向で 4 回の航海を解析対象としました。また解析期間を 1 ヶ月単位とするために、航海の途中で月の終わりとなる場合にはそれ以降の航海時間は翌月回しといたしました。

表 2.2 航海スケジュールの一例

VoYage Schedule in September				
	From Hakata to Shanghai		From Shanghai to Hakata	
VoYage	Departure date & time	Arrival date & time	Departure date & time	Arrival date & time
No. 1	Spe.15th, 15 o'clock	Spe.16th, 17 o'clock	Spe.18th, 07 o'clock	Spe.19th, 05 o'clock
No. 2	Spe.19th, 11 o'clock	Spe.20th, 09 o'clock	Spe.21th, 11 o'clock	Spe.22th, 09 o'clock
No. 3	Spe.22th, 19 o'clock	Spe.23th, 17 o'clock	Spe.25th, 07 o'clock	Spe.26th, 01 o'clock
No. 4	Spe.26th, 11 o'clock	Spe.27th, 05 o'clock	Spe.28th, 07 o'clock	Spe.29th, 05 o'clock

2.3 センサーおよび船内設置場所

本実験で用いる加速度計は3軸方向の加速度センサーLansmont 社 SAVER 3 D15 を用い、船首方向をX軸、左舷方向をY軸、上方向をZ軸とし、Full Scale 5 G を16ビットのA/D変換を用いて50Hzと500Hzのサンプリング周波数によって3軸加速度を記録いたしました。本装置の加速度値収録法には、設定した一定の時間間隔で設定した時間長の収録が行えるTimer Triggered Data（以下、Timerデータと言う.）と、設定した加速度以上になった時の計測値を設定した時間長で計測出来るSignal Triggered Data（以下、Signalデータと言う.）の2つの記録方法があります。図2.2に3カ所のセンサー設置場所、表2.3に設置センサーの状況を示しています。

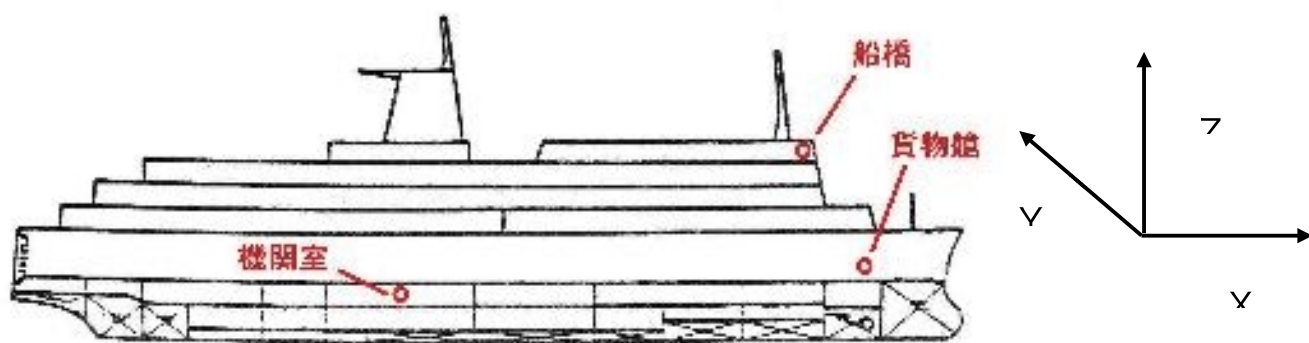


図 2.2 センサー設置場所

表 2.3 センサー番号と設置位置

センサー番号	設置位置
A09	船橋
A10	機関室
A11	貨物室

2.4 計測値

本実験では，Signal データと Trigger データともに，Full Scale 5G，Trigger level 0.05G に設定し，ファイル A09 だけは計測回数/秒を 10 倍の 500Hz に設定しました．図 2.3 に本実験において設定した各種設定値を示します．

Advanced Instrument Setup - SAVER 3X90

Memory Storage Partitions

Signal Triggered Data

Record Time: 30 sec

Samples / Sec: 500, Sample Size: 15000

Signal PreTrigger: 20 %

External Trigger: OFF - Disable

Data Retention Mode: Max Overwrite

Memory Allocation: 269 events

Timer Triggered Data

Record Time: 30 sec

Samples / Sec: 50, Sample Size: 1500

Wakeup Interval: 1 Minutes

Time to Fill: 7.2 days

Data Retention Mode: Max Overwrite

Memory Allocation: 10322 events

Channel Information

CH	Active In Signal Partition	Active In Timer Partition	Channel Description	Full Scale	Trigger	Trigger Level	Filter	Ext Sensitivity	Input Source
1	☒	☒	X	5.0 G	☒	0.05 G	UnFiltered	---	Charge Amp
2	☒	☒	Y	5.0 G	☒	0.05 G	UnFiltered	---	Charge Amp
3	☒	☒	Z	5.0 G	☒	0.05 G	UnFiltered	---	Charge Amp

LED Alarm

☐ Temperature Alarm: 50 °C, -40 °C

☐ Humidity Alarm: 80 % RH, 10 % RH

☐ Acceleration Alarm: 2.5 G's

☒ LED Heartbeat

Cell Phone Alarm

☐ SMS Alarm Alerts

Target Phone Number: []

GPS Tracking

☐ GPS Enable

Print, Cancel, OK buttons.

図 2.3 センサーの設定値

2.5 気象・海象情報

気象・海象情報は本船乗組員により記載されたログブック抜粋より入手しました。ログブックの一部を表 2.4 に示します。ログブック記載情報は、出発・到着時間、船位、針路、速力、機関回転数、風向、風力、波方向、波高、ウネリ方向、海面状態、天候、最大横傾斜角を 4 時間毎に記載されています。ただし、風力、波高はビューフォート階級の階級値を整数記しています。

表 2.4 ログブック抜粋

Time	Position & Movement	Co. (deg.)	Speed (knots)	Eng. Rev. (rpm)	Wind Directio n	Wind Force	Wave Directio n	Wave Height	Swell Directio n	Sea Conditio n	Weather	MaX. Rollin g Angle (deg.)
12:00	31-14.5N/ 123-04.2 E	68	18.4	128	SE	4	SE	4	SE	2	O	1
13:00												
14:00												
15:00												
16:00		57	18.6	128	SE	4	SE	3	SE	2	O	1
17:00												
18:00												
19:00												
20:00		73	18.1	128	SE	4	SE	3	SE	2	O	1
21:00												
22:00												
23:00												
24:00		73	18.5	128	ENE	4	ENE	3	ENE	2	C	1

2.6 加速度情報

2.6.1 解析範囲の限定

船体に生じる加速度には主として2種類が考えられます。一つは、船体動揺の固有振動周期で正弦的に変動する加速度と、パンチングなどによって衝撃的に変動する加速度です。両加速度ともに、その大きさは海面状態に応じて変化します。そこで、ここでは全ての航海中の加速度を調査するのではなく、船舶乗組員が目視から得たビューフォースケールに従った海面状態4（小さな波が立ち、白波が増える）以上を示している航海中の加速度を対象とします。

図 2.6 に航行中の海面状態の変化を示します。図中の赤で示された範囲は海面状態 4 以上の期間で、4 つの期間に分割されます。

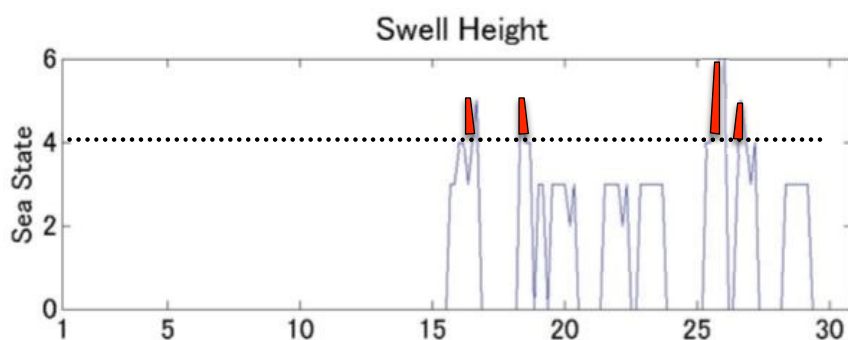


図 2.6 航行中の海面状態

次に、この海面状態 4 以上の期間内で3カ所に設置された加速度センサーで計測された X, Y, Z 軸方向の加速度値は莫大な量となることから 30 秒毎に区切り、最大の加速度値を有する 30 秒間を抽出します。

2.6.2 海面状態と加速度の関係

海面状態 4 以上の加速度計測値を 30 秒間隔で分けることを述べましたが、ここではその 30 秒間の加速度の実効値を求め、さらに、海面状態 4 以上の間における加速度実効値の統計値を以下の RMS 平均値および標準偏差の式で求めます。さらに、各軸が受ける加速度はウネリの向きに依存することとも考えられるために、図 2.7 に示されるようなウネリの相対方向別に区分し処理します。

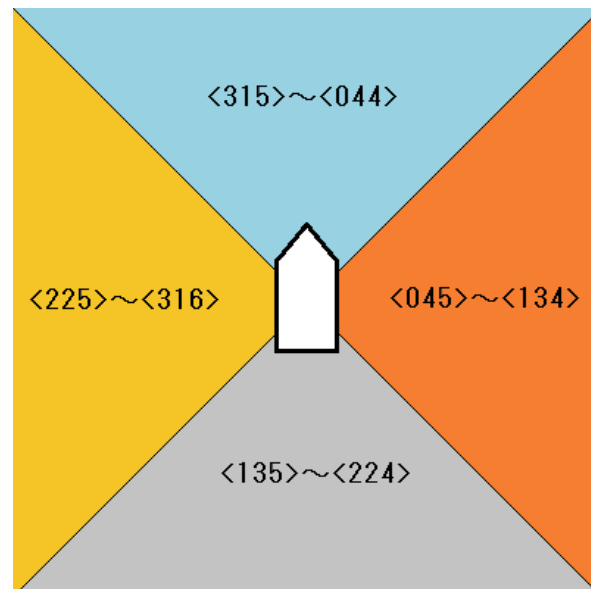


図 2.7 ウネリの向きの方向区分

2.7 基礎知識

2.7.1 貨物へのダメージ

・ダメージに関わる要因

一般に衝突のエネルギーの大きさを表す力積 $I[\text{N}\cdot\text{s}]$ は、質点に働く力 $F[\text{N}]$ と衝突する直前の時刻 $t_a[\text{Sec}]$ 、衝突して止まる時刻 $t_b[\text{Sec}]$ を用いて、

$$I = \int_{t_a}^{t_b} F \, dt \quad (2.1)$$

と表されます。

(2.1)式から輸送中の貨物のダメージを決定する要因として次のものが挙げられます。

- 1) 衝突直前の速度
- 2) 荷物の質量
- 3) 貨物の材質
- 4) 衝突時の接触面積

上記の 1)は一般に衝撃値 $G[\text{G}]$ を用いて比較することができます。衝撃値 G は物体が衝突する直前の速度 $v_a[\text{m/s}]$ から止まったときの速度 $v_b = 0[\text{m/s}]$ 、衝突してから止まるまでの時間 $t_b - t_a = \Delta t[\text{Sec}]$ を用いて、

$$G = \left(\frac{v_a - v_b}{\Delta t} \right) / 9.806 \, 65 \quad (2.2)$$

と表され、衝撃値が大きいほど貨物のダメージは大きくなる。

次に、2)は質点に働く力 $F[\text{N}]$ にかかわる。ニュートンの第二法則によれば、質点の加速度 $a[\text{m/s}^2]$ は、そのとき質点に作用する力 $F[\text{N}]$ に比例し、質点の質量 $m[\text{kg}]$ に反比例する。すなわち、

$$a = \frac{F}{m} \quad (2.3)$$

が成り立つ。ここで加速度が等しい場合、貨物の質量が大きいほど質点には大きな力がかかり、力積も大きくなる。結果として貨物のダメージも大きくなる。

また(2.3)式の質量が等しい場合、加速度が大きいほど質点にかかる力が大きくなるともいえる。

3)は衝突してから止まるまでの時間 $\Delta t[\text{Sec}]$ に関わる。 Δt が小さいほど前

述の衝撃値は大きくなり貨物のダメージは大きくなる。

最後に 4)は単位面積にかかる圧力 P [Pa]に関係し、圧力は次式で表される。

$$P = F/A \quad (2.4)$$

ここで F [N]は質点に働く力、 A [m²]は接触面積とする。圧力は接触面積に反比例するため接触面積が小さいほど接触部分には大きな力が働く。

上記のように貨物のダメージを決定する要因は様々であるが、ここでは船体動揺により発生する貨物への加速度（衝撃値）に着目する。

2.7.2 波浪

・波浪の発生

波浪は洋上の風によって引き起こされる。波浪のうち観測時間に観測場所に吹く風によって引き起こされたものを風波と言い、観測場所から離れた場所で発生し伝播してきたもの或いはその場所の風で発生したものであるが風が止んでもなおその場所にとどまっているものをうねりと言う。

・波浪の観測と有義波高

波浪の観測は器械観測と目視観測に大別でき、それぞれ様々な観測方法がとられているがここでは船上での目視観測について記述する。

波浪の目視観測では観測場所の波浪から風波とうねりの波高、周期、波向の3要素をそれぞれ別々に観測する。このとき複数方向からうねりが伝播してきている場合はそれぞれのうねりの要素を観測する。

熟練した観測者による船上目視観測の観測精度は実用的な水準にあり利用価値の高い情報である。目視観測の精度については1990年の段階で次の結果が出ている。

波向：個々の波向観測の標準誤差は10～13°

周期：個々の周期観測の標準誤差は1.8秒

波高：個々の波高観測の標準誤差は波高1.5mのときに0.3m、波高6mのときに1m

一般に目視観測により計測された波高は有義波高に近いと言われる。有義波高とは、観測地点で観測した連続する波のうち波高の高いほうから順に全体の1/3の個数の波を選び、これらの波高を平均したものである。

3 解析方法

3.1 加速度の選択

解析で選択する加速度計測値は，ログブックに気象情報を記載した時間帯と時間的に整合する計測値を選択します。そのために，Timer Data を優先的に使用します。これは Signal Data が 0.05G 以上の加速度を計測したときに記録されるよう設定されていることから，時に明らかに船体動揺のものと異なる高周波数・高加速度のインパルスノイズを含んでいるためです。ただし，対象とする気象情報が得られた時間内に Timer Data が存在しない場合に限り Signal Data を用いました。

3.2 加速度の事前処理

図 3.1 に 3 軸方向における加速度計測結果の一例を示します。

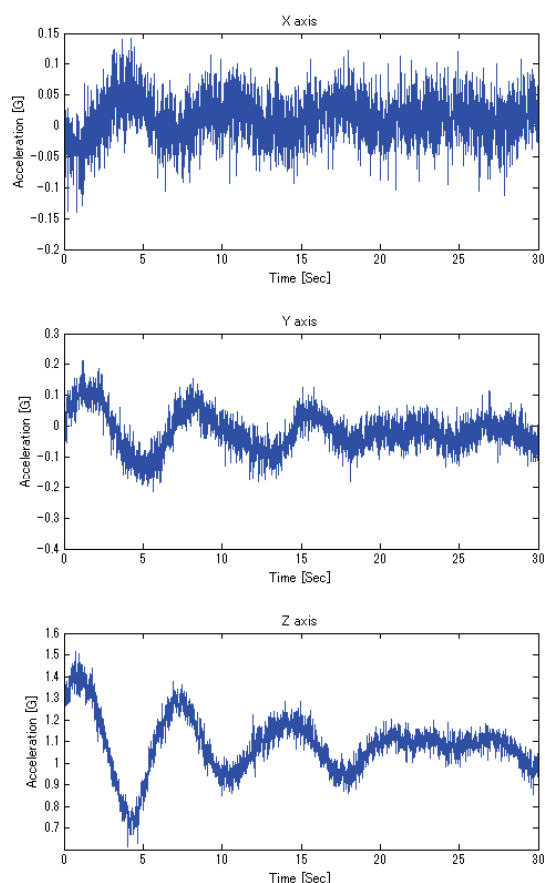


図 3.1 加速度計測結果の一例

図 3.1 の 3 つの図は上から X 軸, Y 軸, Z 軸方向における 30 秒間の加速度計測結果を示し, 横軸が時間[Sec], 縦軸が加速度[G]です。上図のように得られる加速度は主機関やその他の振動源を要因とする高周波振動を多く含んでいますので, これらを含めて船体動揺について考察することは困難と考えまして, 船体動揺による加速度変動だけを抽出するためにフィルタリング処理により高周波成分の除去を行います。

図 3.2 に計測加速度の周波数特性を示します。図中の青色の線は, 図 3.1 で示した計測加速度の周波数特性を示しています。試供船舶の大きさから考えると船体動揺による影響が 1Hz 以下に存在していることは考えにくく, 1Hz 以上の変動成分を船体動揺の周波数成分と考えます。

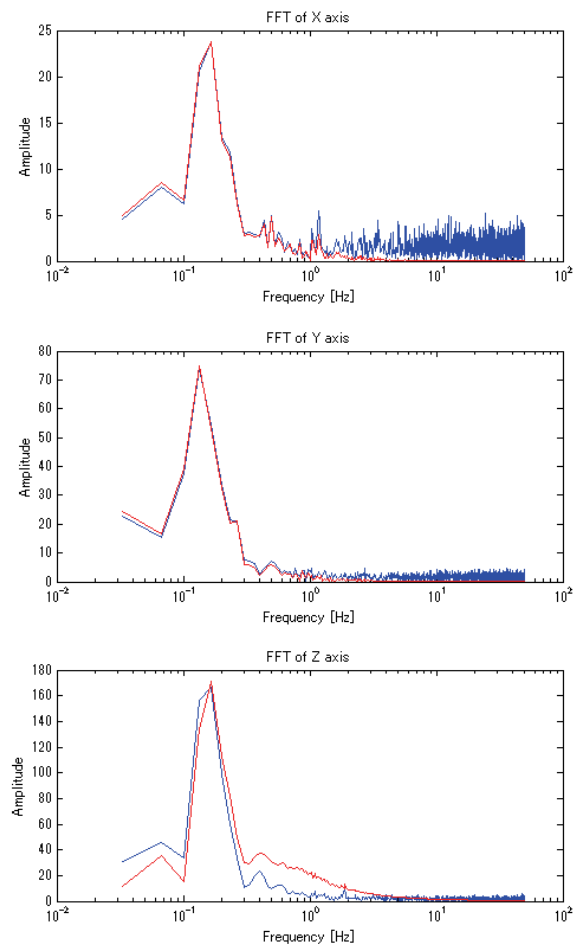


図 3.2 計測加速度の周波数特性

そこで, 1Hz 以上の周波数成分を逡減させるために LPF(Low-Pass Filter: 低域通過フィルタ)を用いた結果を図 4.2 の赤線で示します。LPF 処理した

結果は明らかに 1Hz 以上の高周波成分の逓減がなされています。次に、LPF 処理を行った周波数特性をフーリエ逆変換によって加速度時間信号に変換した結果を図 3.3 に示します。

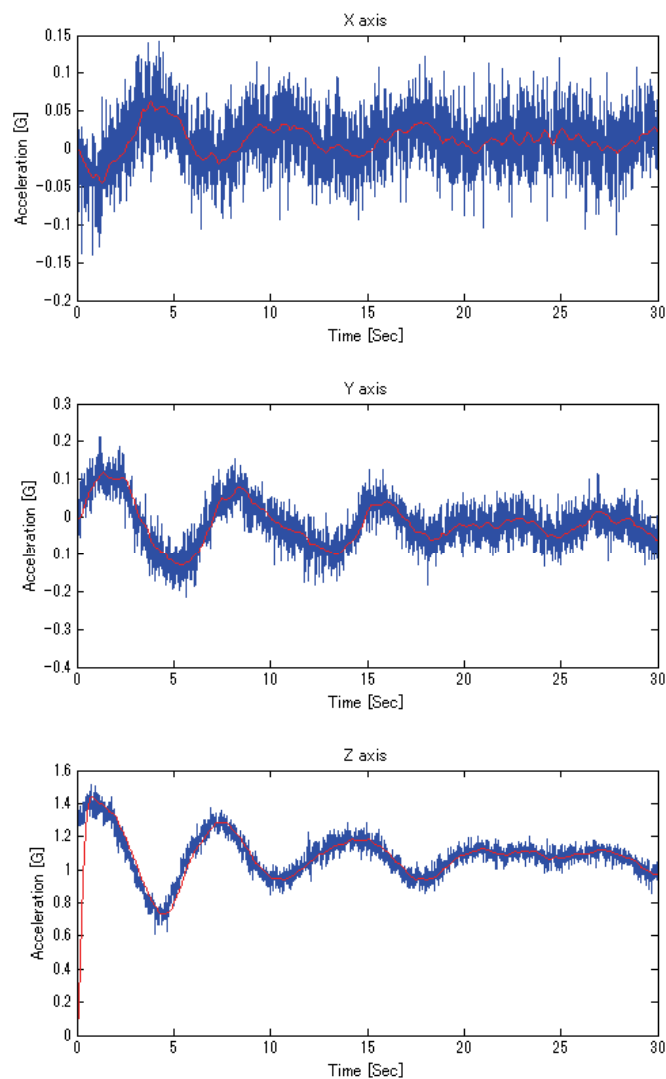


図 3.3 LPF 処理の効果

上図の赤線は LPF 処理後の加速度時間信号を表しており、青線は LPF 処理前の加速度です。同図は上から X 軸、Y 軸、Z 軸方向の加速度で、横軸が時間[Sec]、縦軸が加速度[G]です。この結果から、加速度時間変動の高周波成分が逓減され、船体動揺本来の加速度結果をよく示していることがわかります。今後の解析におきまして、すべて上記の処理を施した加速度値を用いて行うこととします。

3.3 RMS 値

計測値の比較は LPF 処理した計測値から RMS 値を算出して行うこととした。

RMS(Root Mean Square:二乗平均平方根)とはある計測値を二乗した値の平均値であり，時間関数の大きさを評価するために用いられます。

RMS 値 a_{RMS} は一般に

$$a_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (a_i)^2} \quad (3.1)$$

として表されます。ここでは N を計測回数， a_i を加速度 [G] として扱います。この場合 a_{RMS} の単位は [G] となります。

4 解析結果

4.1 うねりと加速度の計測回数

本研究では船体動揺に大きな影響を与えると考えられる「4m 以上のうねり」に着目し、本船で観測されたログブック記録から 4m 以上のうねりを観測した時間帯を抽出、その 1 つの時間帯を 1 つのサンプルとして、計測加速度と比較検討します。

ここで解析の対象は 2012 年 9 月 15 日 16 時から 2014 年 5 月 17 日 4 時の間とします。まず、この間のログブック記録からうねりの波高 4m 以上の時間帯を抽出しました。次に、本船のジャイロコンパスによる針路とうねりの方向から本船の船首方向に対する相対的なうねりの方向（以下、波向と記す。）を算出し、これを船首方向（<315>～<044>、右舷方向（<045>～<134>）、船尾方向（<135>～<224>）、左舷方向（<225>～<314>）の 4 方向に大別し、1 m 単位で観測された波高毎にこの 4 方向に分類しました。ただし、結果的にはうねりの波高が 5m 以上であると観測された日はそれほど多くはありませんでした。

以下に加速度計設置場所毎の波高と相対波向（船首方向に対する）の計測回数を示します。

・船橋設置加速度計の場合

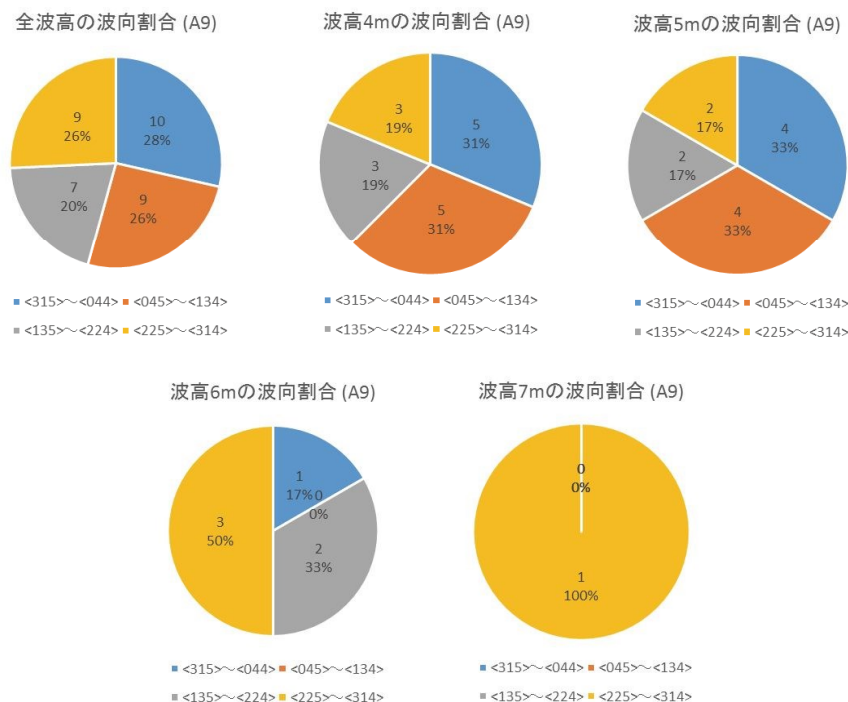


図 4.1 船橋設置加速度計の波高・波向の回数

・ 機関室設置加速度計の場合

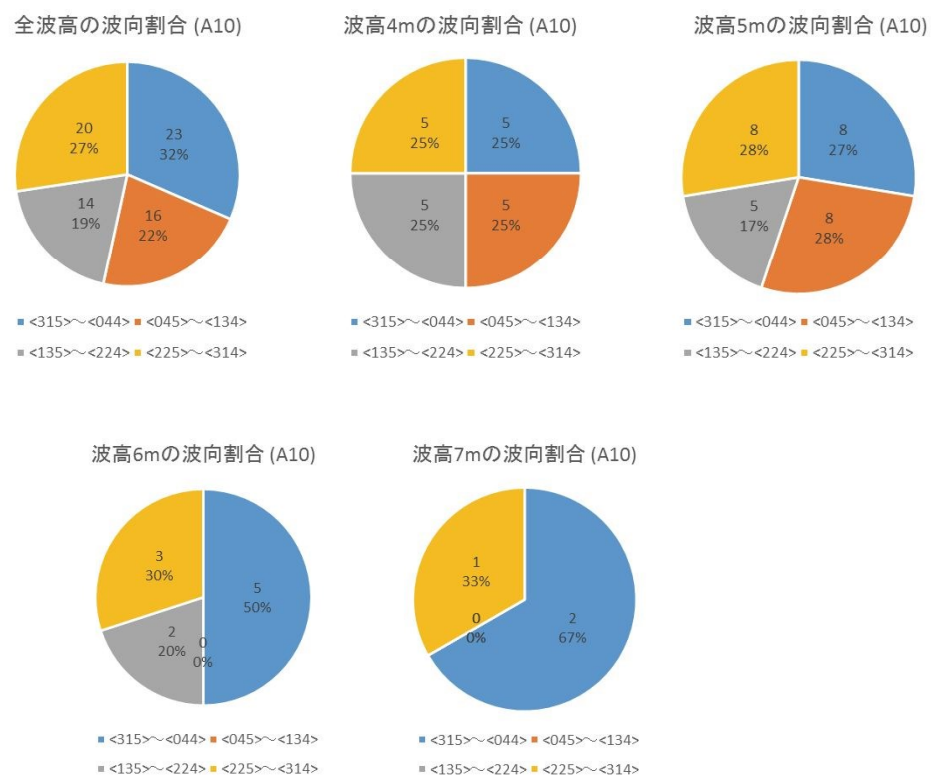


図 4.2 機関室設置加速度計の波高・波向の回数

・ 貨物室設置加速度計の場合

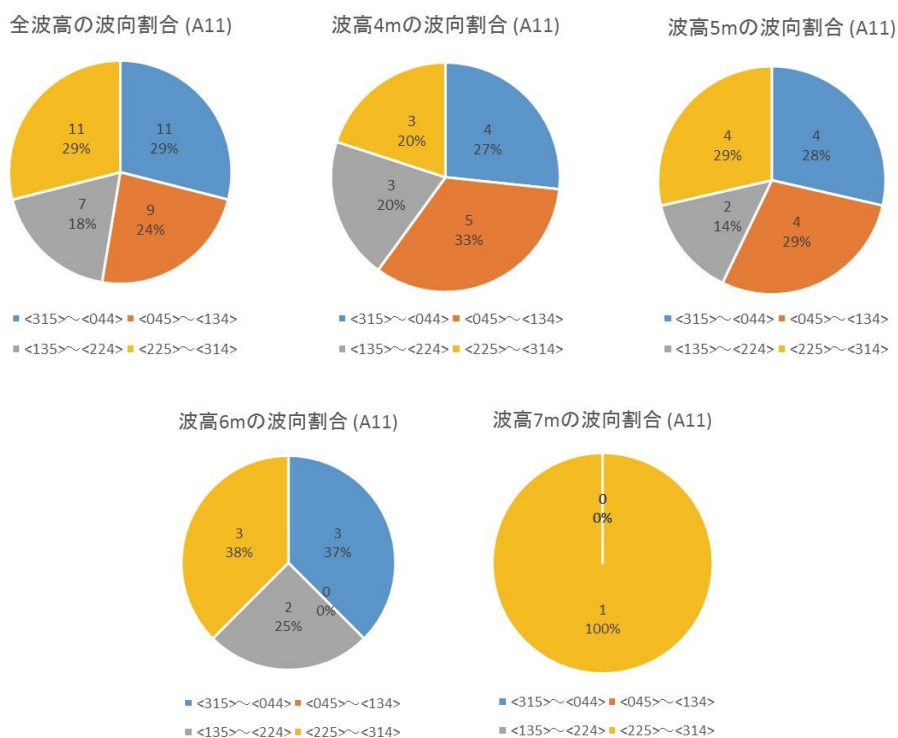


図 4.3 貨物室設置加速度計の波高・波向の回数

4.2 波向毎の波高と加速度の関係

次に、ここでは計測場所毎でうねりの向別うねりの波高と加速度の関係を示します。ただし、加速度は平均化された RMS 平均値で示します。

- ・ 船橋設置加速度計の場合

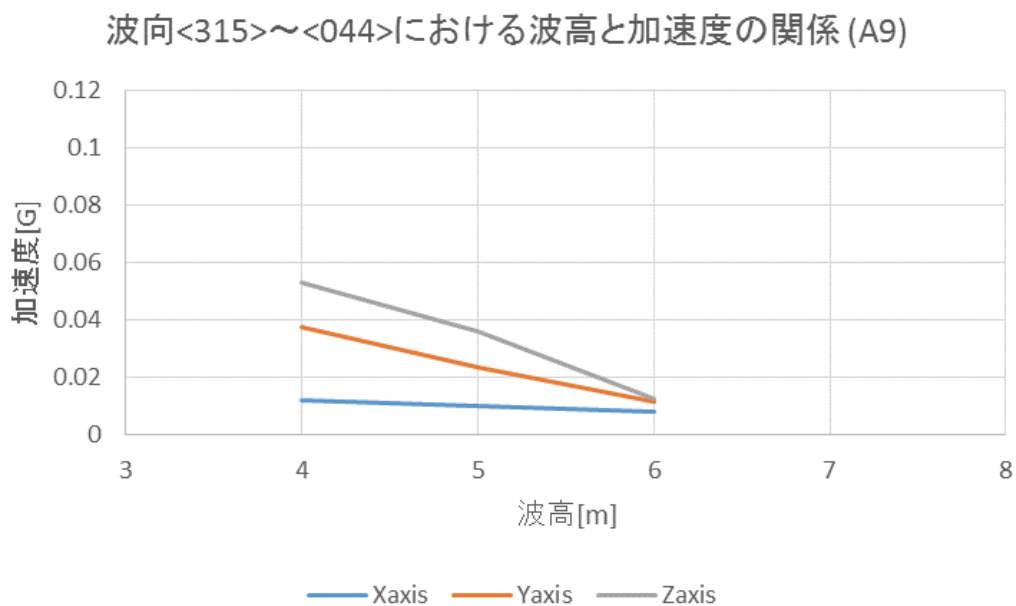


図 4.4 船首方向からのうねりに対する波高と加速度の関係

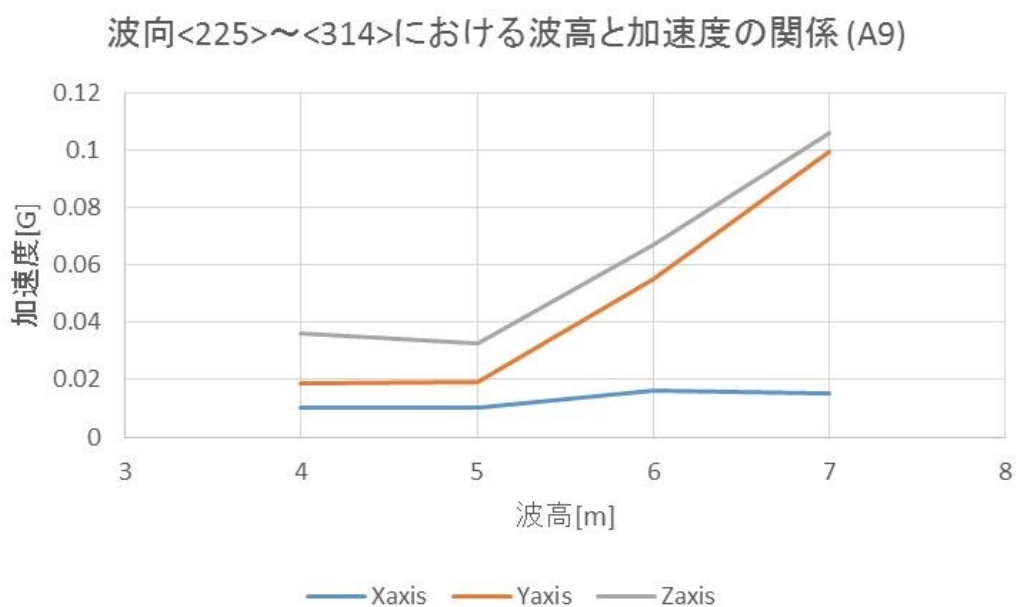


図 4.5 左舷方向からのうねりに対する波高と加速度の関係

波向<045>～<134>における波高と加速度の関係 (A9)

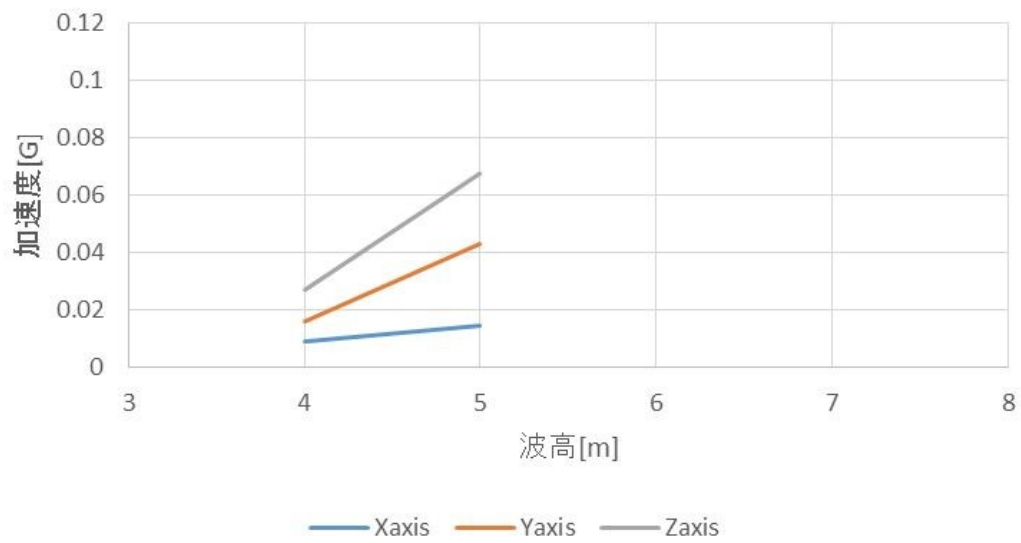


図 4.6 右舷方向からのうねりに対する波高と加速度の関係

波向<135>～<224>における波高と加速度の関係 (A9)

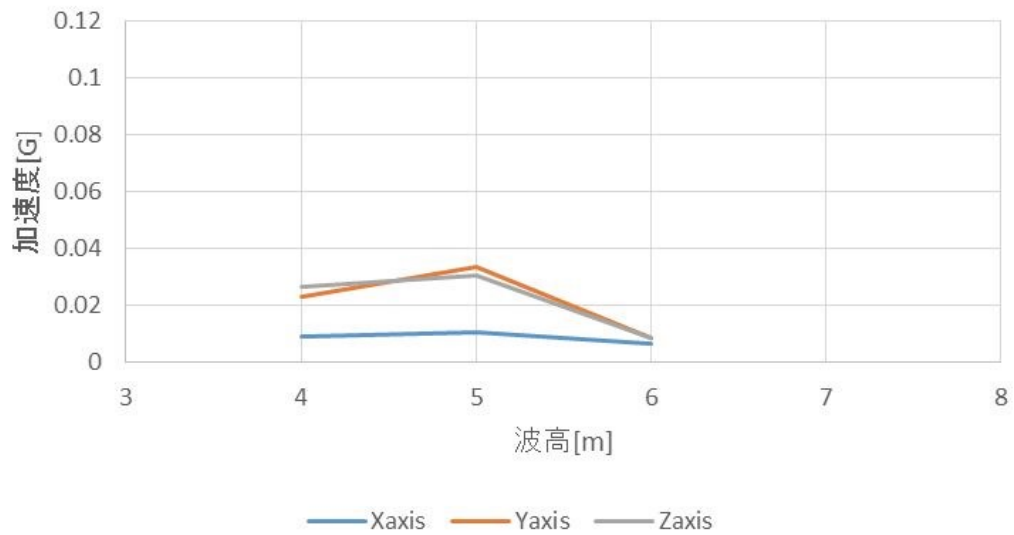


図 4.7 船尾方向からのうねりに対する波高と加速度の関係

- ・ 機関室設置加速度計の場合

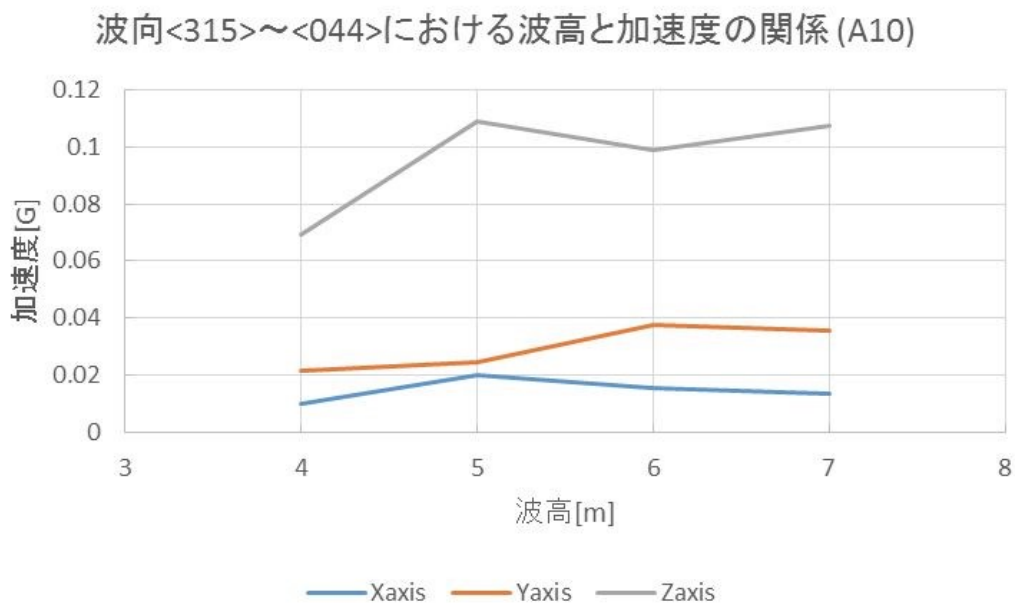


図 4.8 船首方向からのうねりに対する波高と加速度の関係

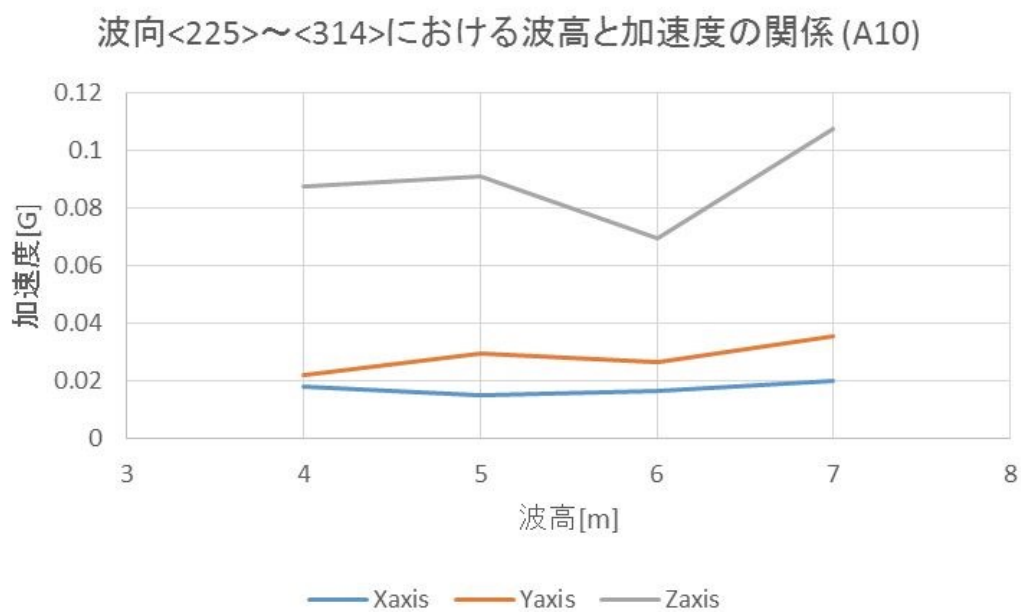


図 4.9 左舷方向からのうねりに対する波高と加速度の関係

波向<045>～<134>における波高と加速度の関係 (A10)

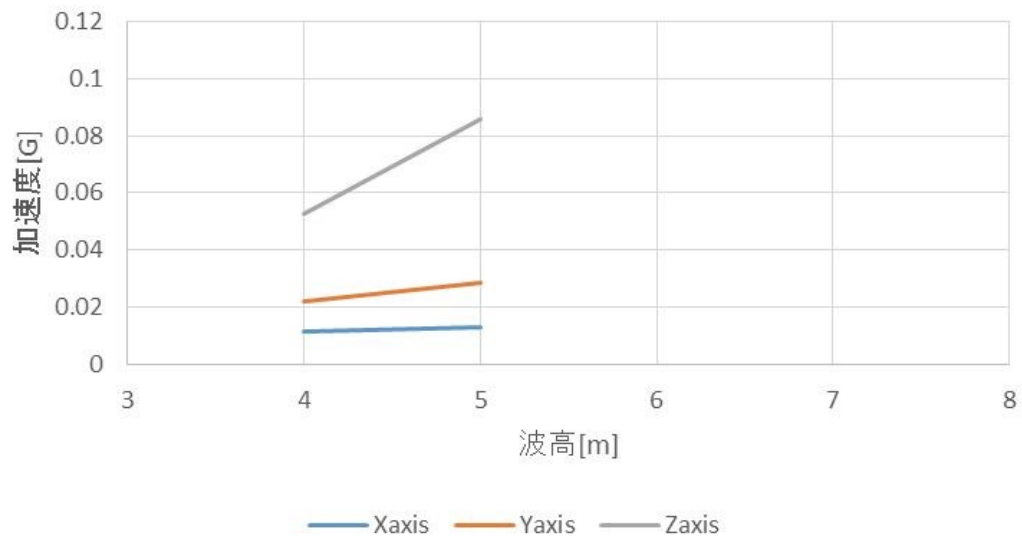


図 4.10 右舷方向からのうねりに対する波高と加速度の関係

波向<135>～<224>における波高と加速度の関係 (A10)

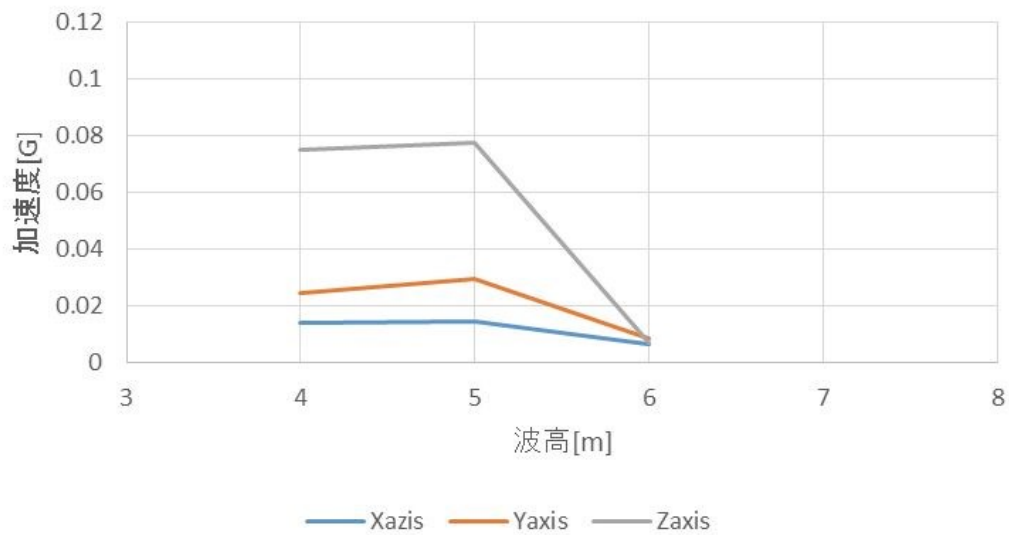


図 4.11 船尾方向からのうねりに対する波高と加速度の関係

- ・貨物室設置加速度計の場合

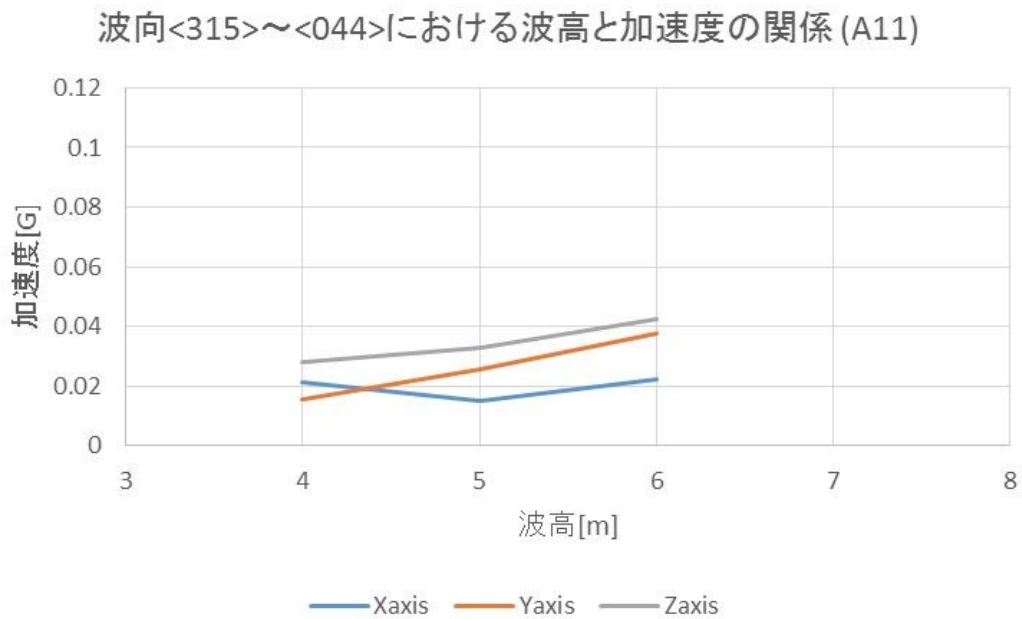


図 4.12 船首方向からのうねりに対する波高と加速度の関係

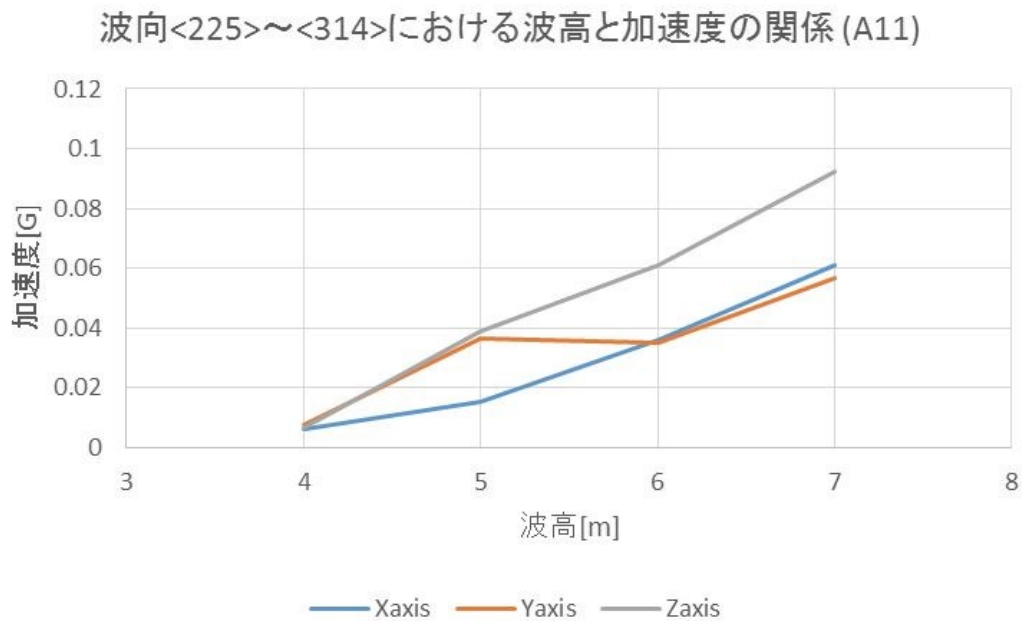


図 4.13 左舷方向からのうねりに対する波高と加速度の関係

波向<045>～<134>における波高と加速度の関係 (A11)

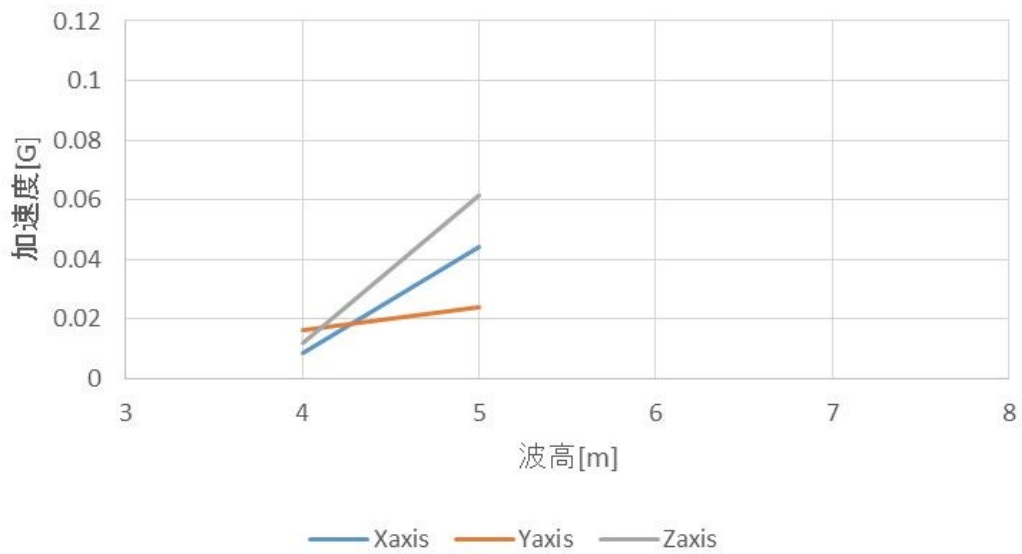


図 4.14 右舷方向からのうねりに対する波高と加速度の関係

波向<135>～<224>における波高と加速度の関係 (A11)

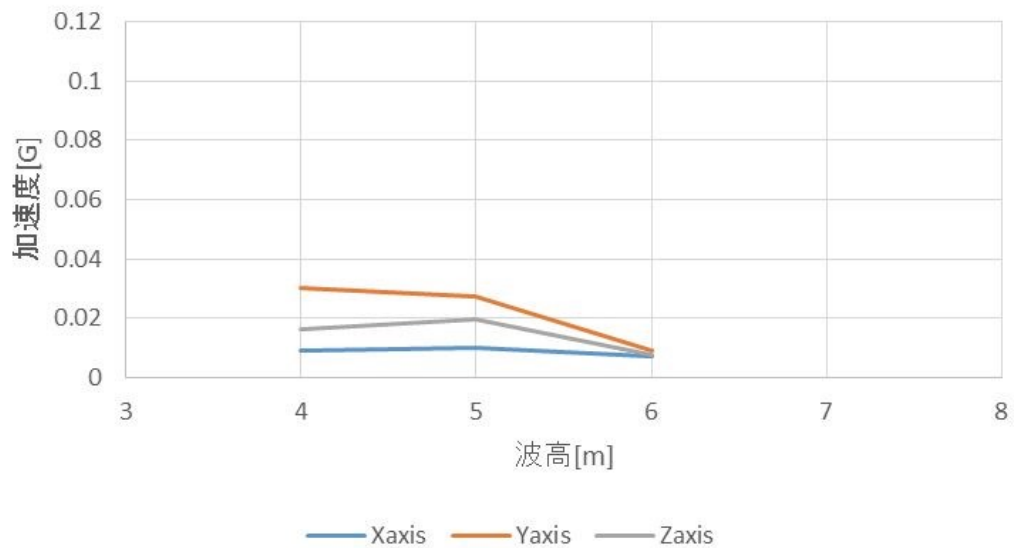


図 4.15 船尾方向からのうねりに対する波高と加速度の関係

- ・ 波向毎の波高と加速度の結果に対する考察

計測場所別のうねりに対する波高と加速度の関係を示した 12 個の図より、左右舷方向からうねりを受けた場合の方が船首尾からうねりを受ける場合と比較して、波高が大きくなるに従って急に大きくなる軽装（急な右上がり）を示しており、波高が大きくなるにつれて加速度が大きくなることを示しています。そのことから、船体の左右舷からうねりを受ける場合には、波高の急激な発達に伴って急に加速度が増加する傾向があり、貨物の状態に注意を要することが考えられます。

一方で、船首尾方向からうねりを受ける場合には、波高の増減による加速度に顕著な変化はあまり見受けられませんでした。それとは逆に波高が高くなるに伴い加速度が減少している結果も見られますが、これはサンプル数の少なさ故に統計的な検定が困難であり、結果としてこれについて言及することも困難です。しかし、左右舷からうねりを受ける場合よりも船首尾方向から受ける場合の方が、うねりが大きくなるに従った加速度の増加が小さくなる傾向がありました。

また、3 軸方向の加速度計測結果に対して、Z 軸（上下）方向の加速度は X 軸（船首尾）方向と Y 軸（左右舷）方向の加速度よりも大きな値を示す傾向がありました。そこで、一般的に船体への貨物の積み付け時において、上下動に最も大きな注意がなされる必要があると考えられます。

4.3 RMS 平均値より大きな波向

まず各センサーの全サンプルにおいて波高ごとに 3 軸加速度 RMS 値の平均値を導出しました。次にその RMS 平均値を超える RMS 値を計測したときの波向を集計し、以下に結果を示します。

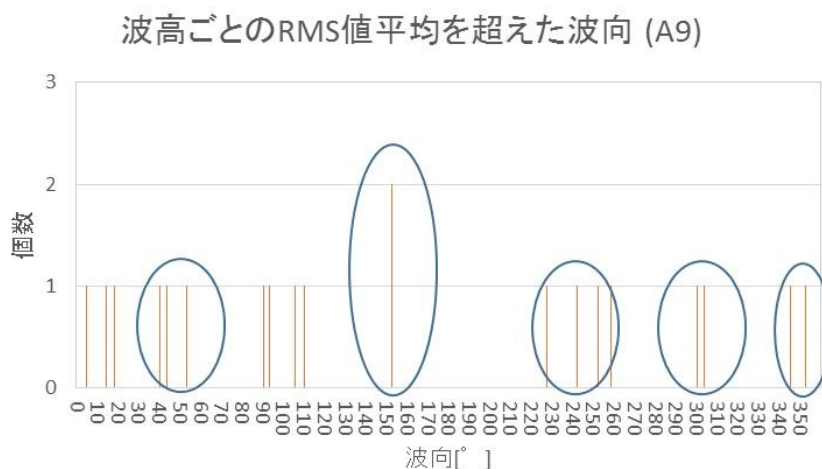


図 4.16 船橋における波高ごとの RMS 平均値を超えた波向

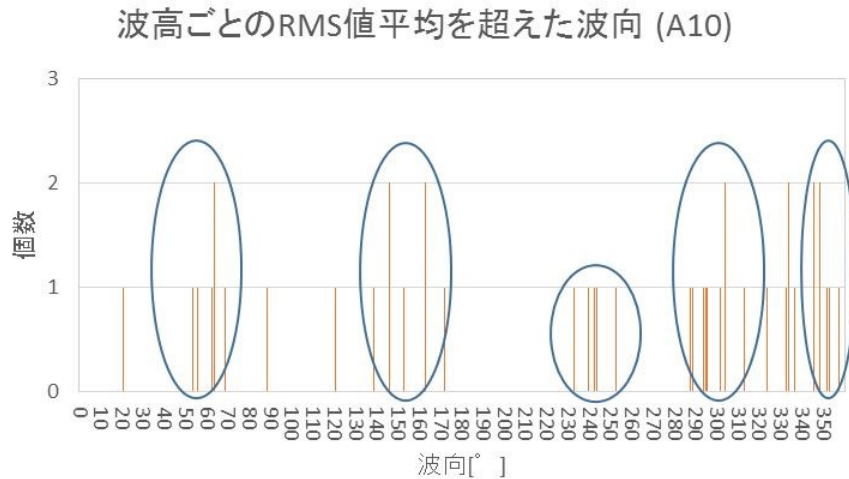


図 4.17 機関室における波高ごとの RMS 平均値を超えた波向

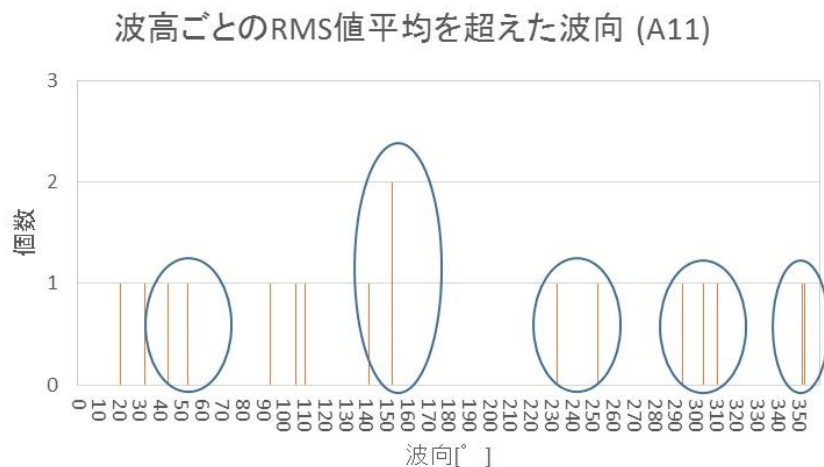


図 4.18 機関室における波高ごとの RMS 平均値を超えた波向

図 4.16～4.18 は横軸を波向[°], 縦軸をサンプル個数と設定し, 横軸は<000>～<359>の範囲で 10 度毎に表示しています。また, 図中の青丸で囲まれた部分は 3 カ所に設置された加速度計の計測値共に RMS 平均値を超えた波向を示し, それらの相対方位は前方やや左向きである<350>付近, 斜め右前方<050>付近, 斜め左前方<300>付近, 右斜め後方<150>付近, 左斜め後方<240>付近でした。相対方向に対する左右の対称性を考慮すると<350>の船首尾線の対称方向である<010>付近にも大きな加速度計測値が得られることも当然と考えられますが, 本解析結果からは<020>付近にそのような傾向がわずかに見られるにとどまっていました。その原因の一つとして, 各

波向における加速度計測値の少なさが考えられます。

波高毎に RMS 平均値以上の値を示した波向を抽出し解析した結果の一例を示したに過ぎませんが、この RMS 平均値を閾値として用いる方法では前述の特性が見られ、当該相対方位からうねりなどの波浪を受ける場合には通常の加速度に比べて大きな値を示しており、このことから貨物の積みつけなどに対して特に注意を要することが考えられます。また、貨物の荷崩れや損傷状況を記した記録があれば、より有効な解析結果が得られると考えられ、今後は貨物に損傷が発生したときの航海ログブックの記録からうねりの大きさ・向きや加速度値を導き、解析できればより有効な結果を示すことができ、それらの解析結果からより適切な固縛方法を考察することも可能となるでしょう。さらに、同じ波高・波向であっても貨物に対して損傷度合いと RMS 値を比較することによって、計測した RMS 値から航海時に貨物に対する警報を発することも可能となり、その際に航海者が針路あるいは速力の変更の基準とすることも可能であり、貨物に対する固縛および監視の強化のような対策をとることもできることから、貨物損傷の発生率の減少に寄与できるでしょう。

4.4 8 波向分類による加速度特性

この項では到来するうねりを、<338>～<023>から 45 度間隔で 8 分割した波向分類を図 4.19 に示します。

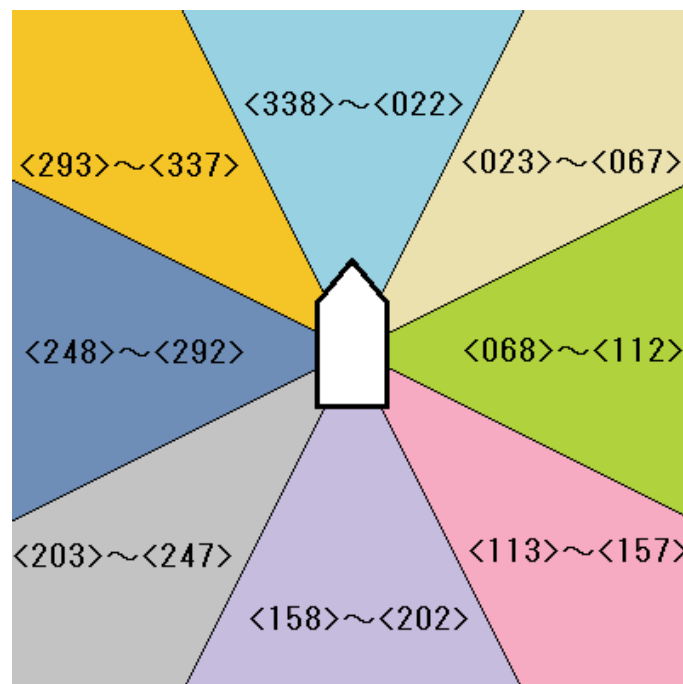


図 4.19 8 波向分類

次に、分類された相対方向から到来するうねりによって3カ所に設置された場所において計測された3軸方向のRMS平均値を示す。以下の図において、三角形の真上はZ軸（上下方向）、左はY軸（左右舷方向）、右はX軸（前後方向）のRMS平均値を示し、青色、橙色および灰色はそれぞれ波高4、5、6mによる船体動揺の結果を示します。

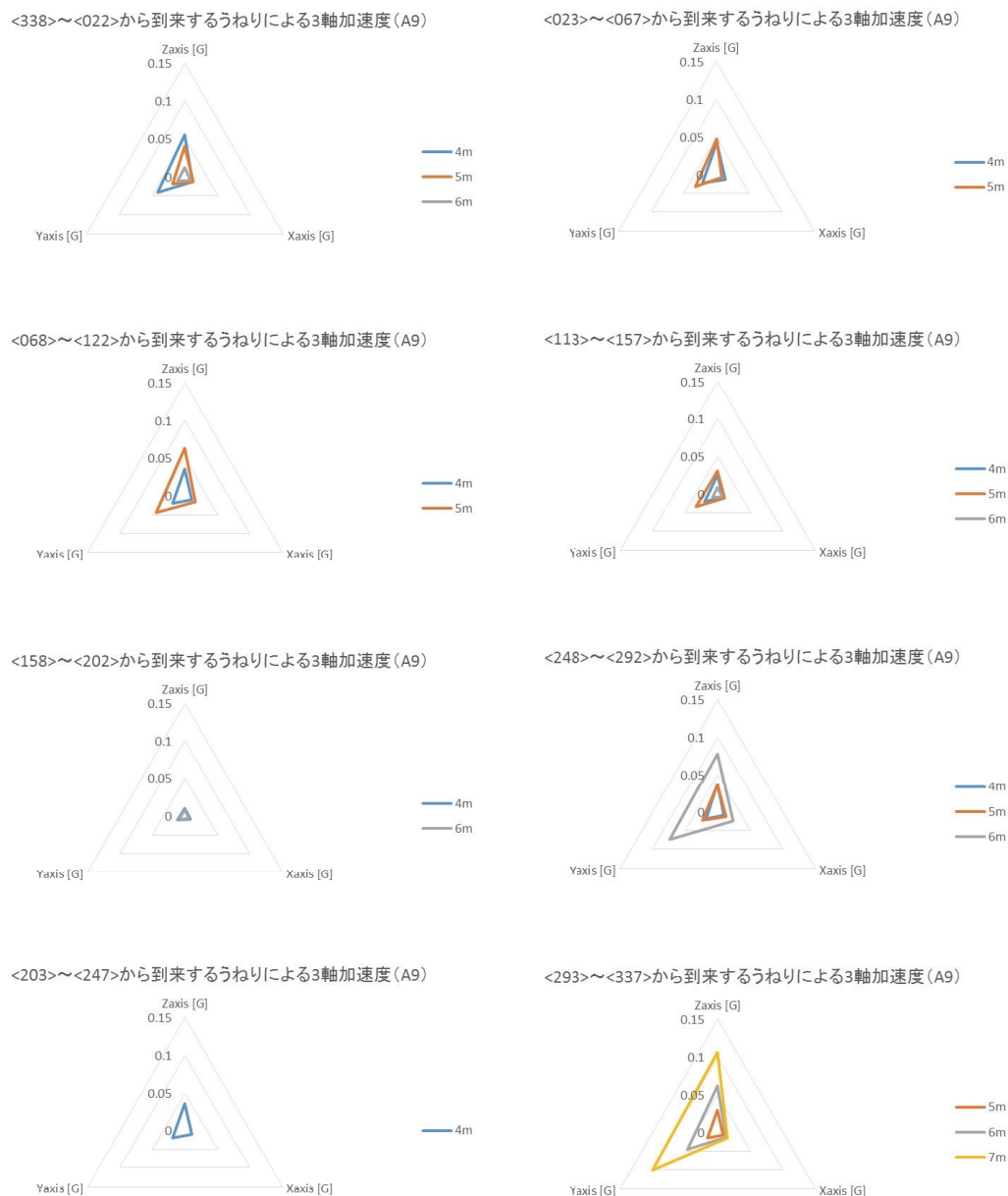
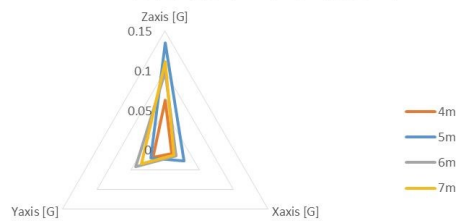
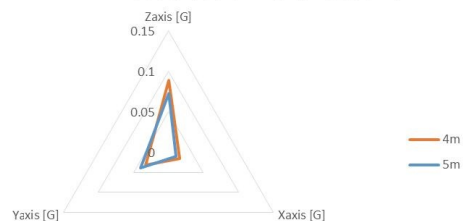


図 4.20 船橋設置加速度計における 8 波向別加速度

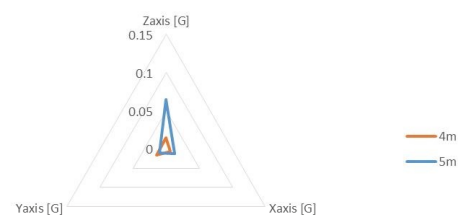
<338>～<022>から到来するうねりによる3軸加速度 (A10)



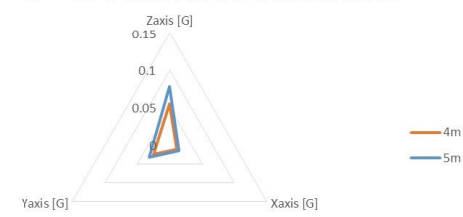
<023>～<067>から到来するうねりによる3軸加速度 (A10)



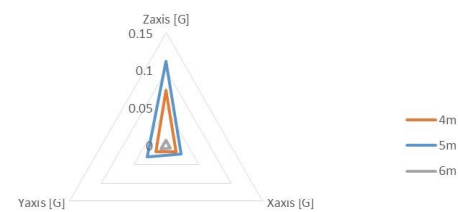
<068>～<122>から到来するうねりによる3軸加速度 (A10)



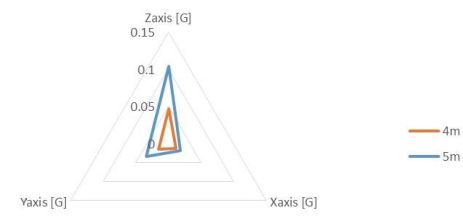
<113>～<157>から到来するうねりによる3軸加速度 (A10)



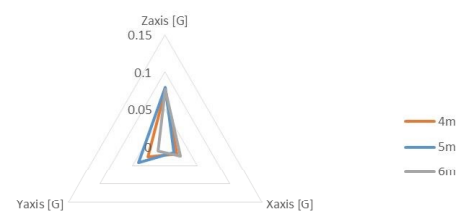
<158>～<202>から到来するうねりによる3軸加速度 (A10)



<203>～<247>から到来するうねりによる3軸加速度 (A10)



<248>～<292>から到来するうねりによる3軸加速度 (A10)



<293>～<337>から到来するうねりによる3軸加速度 (A10)

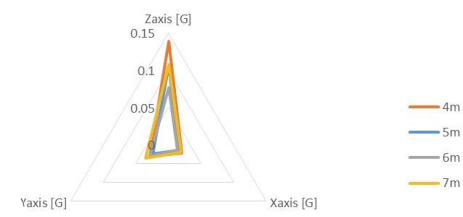
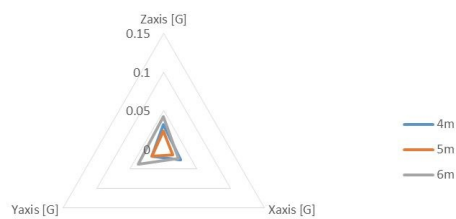
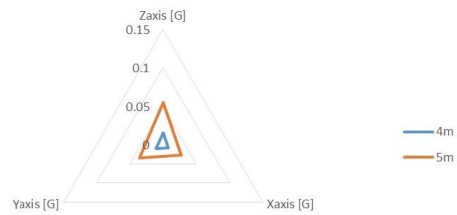


図 4.21 機関室設置加速度計における 8 波向別加速度

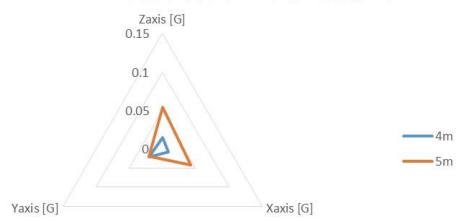
<338>～<022>から到来するうねりによる3軸加速度 (A11)



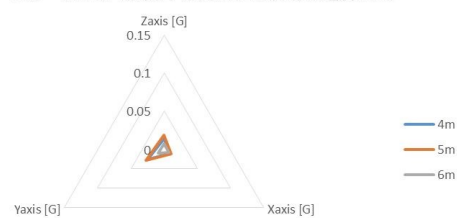
<023>～<067>から到来するうねりによる3軸加速度 (A11)



<068>～<122>から到来するうねりによる3軸加速度 (A11)



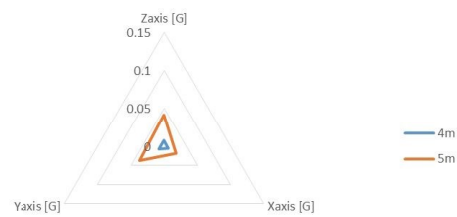
<113>～<157>から到来するうねりによる3軸加速度 (A11)



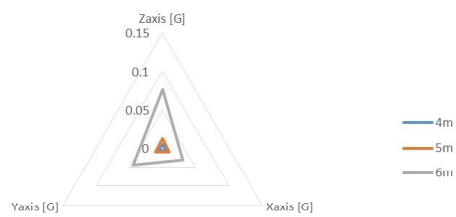
<158>～<202>から到来するうねりによる3軸加速度 (A11)



<203>～<247>から到来するうねりによる3軸加速度 (A11)



<248>～<292>から到来するうねりによる3軸加速度 (A11)



<293>～<337>から到来するうねりによる3軸加速度 (A11)

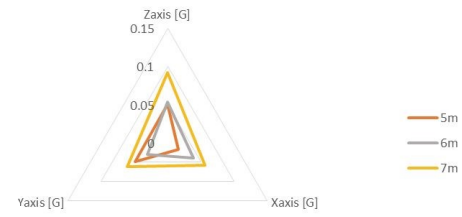


図 4.22 貨物室設置加速度計における 8 波向別加速度

図 4.20, 図 4.21, 図 4.22 で示した計測結果から, 特筆に値する結果を示した計測結果を以下に抽出し, 結果に対する考察を述べます。



図 4.23 貨物室設置加速度計の波高 5m による加速度

図 4.23 は図 4.30 で示した貨物室に設置した加速度計で計測された前方 (<388>~<022>: 青線) からのうねりと左後方 (<248>~<292>: 橙線) から到来する波高 5 m のうねりによる RMS 平均値を示している。前方から到来するうねりによる加速度 RMS 値は, 左後方から到来するうねりによる加速度 RMS 値と比べて上下方向 (Z 軸) の加速度が大きい。一方で, 左後方から到来するうねりによる加速度 RMS 値は, 前方から到来するうねりによる加速度 RMS 値に比べて左右舷方向 (Y 軸) の加速度が大きいことがわかります。この結果は, 前方からのうねりは船舶動揺としてピッチングを起こし, 左後方からのうねりはヨーイングを起こす主要因となっており, 一般的な船舶における動揺特性と矛盾しない結果となっています。

<293>~<337>からうねりを受けた場合の船橋センサーRMS値

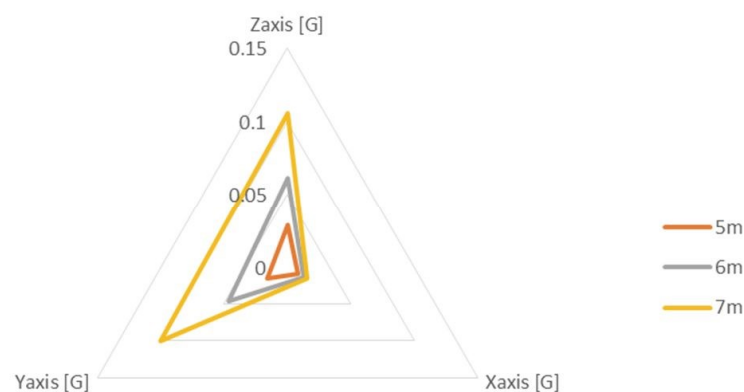


図 4.24 船橋設置加速度計の左前方からのうねりによる加速度

図 4.24 は図 4.29 で示した船橋設置加速度計の左前方からのうねりによる加速度を 5, 6 および 7 m の波高別に RMS 値を示した結果です。図 4.24 により, 上下方向 (Z 軸) 及び左右舷方向 (Y 軸) の加速度 RMS 値は波高が大きくなるに伴って大きくなっていることがわかりますが, 前後方向 (X 軸) の加速度 RMS 値は波高の変化に伴って大きくなる割合が他の方向の加速度に比べて少ないことを示しています。このことから, 左前方からのうねりに対して上下および左右方向の加速度に注意する必要があるでしょう。

<068>～<112>から4mのうねりを受けた場合の各センサーRMS値

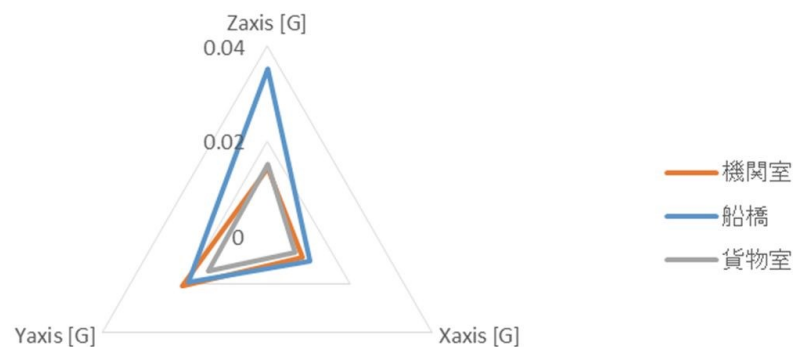


図 4.25 右正横から到来する 4m のうねりによる加速度

図 4.25 は, 異なる計測場所において右正横 (<068>～<112>) から到来する波高 4m のうねりを受けた場合の RMS 値を示しています。青色は船橋, 橙色は機関室, 灰色は貨物室に設置された加速度計の RMS 値を示しており, 左前方からうねりを受ける場合, 船橋の上下方向 (Z 軸) の加速度 RMS 値が他の加速度値に比べて卓越して大きいことがわかります。これは船橋の位置が他の設置場所に比べて高い所にあることから, 正横からうねりによる船体の大きなローリングによって船橋が他の場所よりも大きな上下動の加速度を受けたものと考えられます。

5 まとめ

本研究は 2012 年 09 月 15 日から 2014 年 5 月 17 日 までの間、上海-博多間を航行するコンテナ船に設置された加速度計から得られた 3 軸方向の加速度値と船橋における人の目視から得られた海象記録値に基づいて加速度と波浪（うねり）の関係を解析および考察した結果をまとめました。海上における実験は陸上では考えられない多くの事態が生じ、その全てを計測できているわけでは有りませんが、船舶のまわりの海象と船体動揺を同時に計測することで両者の関係を解析するという初めての試みであること、またセンサーの調整や故障より利用可能な結果が少ない中で、ある程度はそれらの特性を解析することができ、有効なデータベースが構築できたと思っております。

最後に、今後のために本研究を進めることでより有意な成果が得られるために、必要なことがらを以下にまとめました。

(1) サンプリング周波数の変更

スペクトル解析から船舶動揺のものと思われる卓越した振動成分の周波数は 1Hz 以下に収まっているものがほとんどであり、サンプリング周波数は 5Hz 程度で十分であると考えられます。

(2) より多くの気象海象情報の収集

今回利用したログブックの記録値は船舶の運航上 4 時間に 1 度のものであった。加速度計測値の解析には気象海象情報との組み合わせが必要不可欠であり、気象海象情報が増えれば解析可能な加速度計測値も増加し、またその解析結果はより精度の高いものとなる。可能であれば 1 時間に 1 度のログブック記入が望ましいと考えます。

(3) スタビライザー使用状況

スタビライザーの使用により船体動揺加速度は増減すると考えられるが、今回の研究では使用の有無がわかる情報が存在しなかったため、スタビライザーの効果は考慮していない。スタビライザーの船体動揺加速度への影響を実船による計測で考察できれば船舶運航者にとって有効な情報提供ができるのではないかと考えます。

(4) 貨物損傷状況

貨物の荷崩れや損傷状況を記した情報があれば、加速度と貨物の影響の関係性が考察しやすい。ただし実用的な数値を導き出すには長期間の計測値が必要になると考えます。

(5) 重力の影響

本加速度計は船体に固定して設置されていることから、船体の動揺によって重力の方向が変化します。そこで、正しく3軸方向の加速度を計測するためには船体動揺による重力の影響を除去する必要があります。将来的には、3軸回りの角度を計測することによって重力の影響を除去できる可能性があります。

参考文献

1. 河口信義：「船舶加速度・衝撃値データの統計処理等の理論化及びその活用策に関する研究」，2013.
2. 一般社団法人日本海事検定協会（検査第一サービスセンター）：「貨物輸送中の衝撃値（加速度）に関するデータベースの作成 報告書」，2012.
3. 斉藤勝彦・長谷川淳英：「輸送包装の基礎と実務」，幸書房，2008.
4. 斉藤勝彦：「輸送包装の科学」，日本包装学会，2004.
5. П.И.ロマノフスキー：「応用数学の基礎 第6版」，共立出版株式会社，1992
6. 株式会社藤田電機製作所：「SHOCK の衝撃値」，2012.
7. 磯崎一郎：「波浪概論 -解析と推算-」，日本気象協会，1990.
8. 上海スーパーエクスプレス株式会社：「使用本船」，
<http://www.ss-eXpress.biZ/companY/04.html>
9. 公益財団法人 海難審判・船舶事故調査協会：「採決録，貨物船福吉丸転覆事件」，
<http://www2.maia.or.jp/list.php>.
10. 神奈川新聞：「世界最大級コンテナ船が大規模荷崩れ，横浜港に入港し復旧へ」，2011，
http://www.kanaloco.jp/article/24706/cms_id/24536.

巨大貨物のバージ輸送中の加速度の計測

平成26年度報告書

一般社団法人日本海事検定協会

(検査第一サービスセンター)

1. 目的

本計測は弊会が公益事業として平成26年度まで実施した海上輸送中の船舶において発生する加速度の計測の延長線上にあり、近年バージで国内外に輸送される巨大なクレーンや構造物に海上でどの程度の加速度が発生しているのかを調査しデータベース化することを目的としている。

2. 計測方法

先の船舶での加速度計測では定期航路を航海している船舶で加速度の計測を実施したが、バージでの輸送では、定期的に輸送されているものは殆ど無く、不定期であり、尚且つ頻度が相当低いものである。

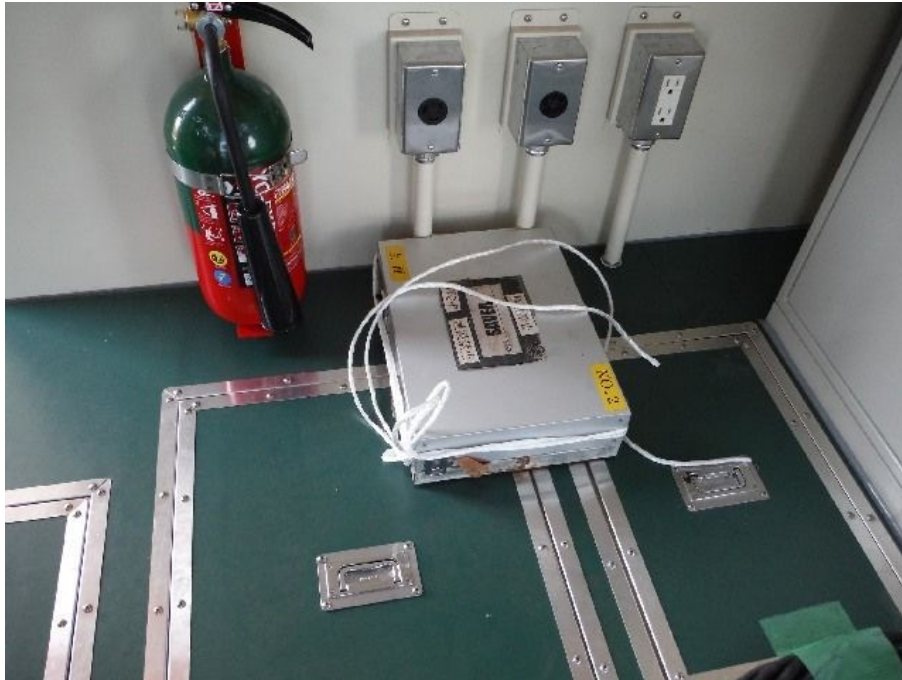
従って、バージによる輸送が必要な貨物、機器を製造している重機械工業のメーカーまた、バージを運航する輸送会社の協力を得ることが必要である。

平成26年度はまずトライアル計測として、IHI運搬機械株式会社様のご協力を得、北海道の室蘭から釧路まで輸送される穀物荷役用のニューマチックアンローダーの輸送時に加速度を計測させていただいた。

バージ上のニューマチックアンローダーの状況は以下のようなものである。



前述のバージ上及びアンローダー上に今回は3か所に計測器を取り付けた。



上記はアンローダーの運転室に設置したものである。この他に機械室に1台また、バージのデッキ上に1台設置した。

しかし、今回は理由は不明であったがデッキ上の計測器では正しく計測は実施されなかった。このように計測器が取り付けられたバージは下図のような航海を行った。



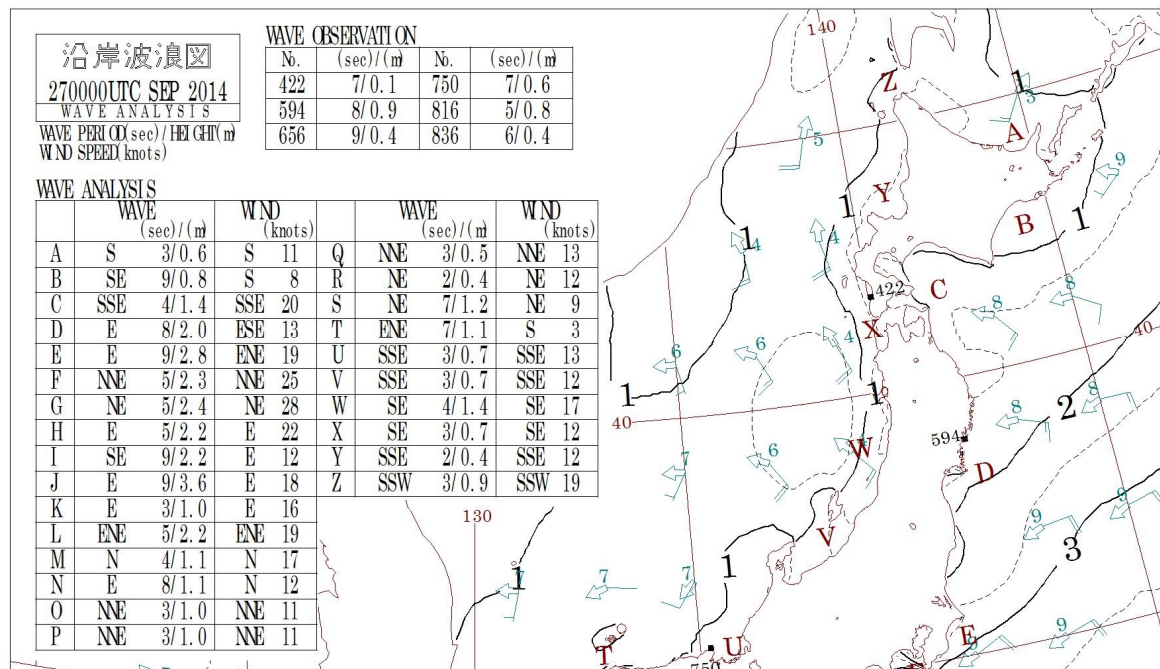
3. 計測結果

3-1 海面の状況

バージを曳航したタグボートの記録によれば、航海中はほぼ静穏な海象状況であり、波高は最大で1.0m（有義波高）程度であったとのことである。

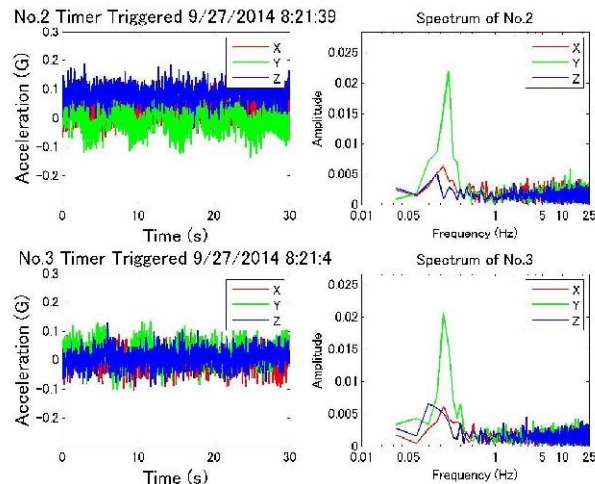
波の方向は南～南東からの波であったとのことなので、バージの右より右後方から波を受けて航海したものと推定される。

ちなみに、気象庁による沿岸波浪図（9月27日朝9時）でも、襟裳岬周辺では波高は1m程度、波の向きは南東に近い。



3-2 加速度

前述のように、海面の状況はそれほど悪くなく、おそらく船体もそれほど動揺していなかったものと推定される。計測された加速度は水平方向では0.2（G）を超えることはなかったようである。



この計測値は、9月27日朝8時過ぎに計測されたもので、前述の沿岸波浪図の状況に近い中、襟裳岬を7時に通過した後のものである。

今回の全航路の中でも比較的大きい加速度を記録している。

これによれば、Y方向（緑色、左右方向）に最大で約0.13（G）程度であり、周期は5～6秒である。X方向（赤色、前後方向）は最大で約0.1（G）程度であり、周期の特性はあまり見られないがやはり5～6秒、Z方向（青色、上下方向）は最大で0.2（G）程度であるがスペクトラムを見ると周波数の高い域に集中しており、これは船体やアンローダー自身が震えるような振動を計測しているのではないかと推定される。

資料を参照すれば判るが、今航海の全体に亘ってほぼ同じ程度の加速度を計測している。輸送された海上の環境は波高1m程度で殆ど変化もなく、特筆すべき加速度は計測されていなかった。

4. 来年度以降の事業について

バージでの輸送時の加速度は今年は2航海の計測を行ったが、ここで述べた他のもう1航海については計測のミスが生じており、データの解析に至らなかった。また、前述の航海にあたっても3台の計測器のうち、1台は正確に計測が出来なかった。

この計測ミス無くし、また、計測数を増やすことによって、バージ輸送時の加速度のデータを効果的に収集することが出来るものとする。

また、この計測結果と弊会で所持しているバージの動揺解析プログラムによる計算結果との照合を行うことにより、より有用な加速度が推定、提供出来る。

以上

平成26年度報告書

航空輸送による加速度の測定

一般社団法人日本海事検定協会
(検査第一サービスセンター)

1. 調査の概要

本事業の目的は、船舶・トラック・鉄道・航空機等の輸送モード別、貨物の単体輸送・コンテナ輸送別に輸送中に発生する衝撃値(加速度)を一定期間にわたって計測・収集し、その結果を取りまとめたうえでデータベース化して公表するものである。

本年度は、航空機輸送中の加速度計測を計画し計測に向けて進めていったが、本計測まで実施することはできなかった。

2. 計測器の選定

航空機輸送のデータ収集にあたり、取得データの解析性能を考慮して SAVER 3D15 を使用して計測することとした。また本計測器が、FCC マークと DO-160 を取得していることにより電波障害は発生しないことを確認した。

FCC マークは、装置からの電磁妨害が連邦通信委員会によって承認された範囲の下にあることを証明するアメリカで製造されたか販売された電子製品上で使用された証明マーク。

DO-160 は、空挺機器用の環境条件および試験手順によって公開アビオニクスハードウェアの環境試験の標準。

3. 計測方法の検討

航空機輸送の貨物として計測することから、ダミーボックス作成して計測器を収納する方法とした。

4. 計測用ダミーボックスの作成

平成 24 年度に「陸上輸送中において発生する荷扱いの衝撃値計測」にダミーボックスを使用した経験を踏まえて、同じような方法で航空機計測に合う形で作成した。

大手宅配業者のカートン（サイズ 32(L) x 43(W) x 25(H) cm）を使用して、カートン内に計測器を設置した木箱を収納。木箱底面に計測器を直接設置することにより、ダミーボックスが受けた加速度を計測できるようにした。

計測器を収納したダミーボックス 1 個の重量はおおよそ 5kg。



図 4-1 木箱とカートン



図 4-2 計測器設置状態

5 航空会社への協力依頼

本年度に引き続き来年度にかけて、本事業の目的を説明してご理解を頂いた上で計測の協力を頂けるように航空会社へ協力を依頼していく予定である。